

陸上競技・女子中距離競技者を対象とした 長期間にわたる低酸素トレーニングの実践報告

The report of long-term hypoxic training in female middle distance runners.

三本木 温¹⁾ 中垣 浩平¹⁾ 太田 涼¹⁾ 麻場 一徳¹⁾
Sambongi Yutaka¹⁾ Nakagaki Kohei¹⁾ Ohta Ryo¹⁾ Asaba Kazunori¹⁾

【要約】

大学陸上競技部に所属する女子中距離競技者3名を対象にして、1週間に1回の頻度で低酸素環境下での自転車エルゴメーター運動によるトレーニングを長期間にわたり実施した。トレーニングは5分間のペダリング運動(130-165watt、47-60% $\dot{V}O_2\max$ に相当)を3回、1分間のペダリング運動(360watt、100% $\dot{V}O_2\max$ に相当)を3回、それぞれ1分間の休息を挟みながら行なうものであった。1分間ペダリング運動で発揮されたパワーと運動中の心拍数と動脈血酸素飽和度および運動後の血中乳酸濃度についてその推移、およびそれらとトレーニング期間中の競技成績との関係について検討した。その結果、本研究の低酸素トレーニングは有酸素性エネルギー供給系と解糖系エネルギー供給系の双方を高い水準で動員する強度の高いトレーニングであることが認められた。また、1分間ペダリング運動で発揮されたパワー、血中乳酸濃度および動脈血酸素飽和度の推移は対象者によって異なっていたこと、一部の対象者では競技成績の向上と自転車ペダリング運動のパワーと血中乳酸濃度が同時に増加する傾向にあったことが認められた。

1. 緒言

陸上競技における400、800m走は、女子においては競技時間が1-2分程度であることから、運動中の有酸素性および無酸素性エネルギー供給の比率は、それぞれ4:6、3:7程度と考えられている¹⁾²⁾。また、走行中の酸素摂取量は最大酸素摂取量に対して400m、800mそれぞれ約94%、100%に達するとともに走行後の血中乳酸濃度は同様に22mmol/l、15mmol/lに達することが報告されている³⁾⁴⁾。したがって、これらの競技中においては有酸素性および無酸素性エネルギー供給の両方について極めて高い水準で動員して走行しているため、競技成績を高めるためには、有酸素および無酸素性持久力の両方を高めていくことが必要と考えられる。そのためにはトレーニングにおいて実際のレースに近い距離を高強度で走行することが必要であり、このことは競技者にとって厳しいトレーニングであることが予想される。

大気中の酸素濃度が低い高地でのトレーニングは、わが国では1960年代から注目されるようになり、当初はマラソン、ノルディックスキー、水泳など全身持

久力を必要とする競技において取り入れられていた。これは高地トレーニングによって、赤血球やヘモグロビン等血液性状の改善に伴う有酸素性持久力の向上が期待できることによる。しかし近年では、国内の高地トレーニング拠点が整備されたこと、人工的に低酸素環境を作り出せる施設が多く設置されたことに伴い、多様な競技種目で高地/低酸素トレーニングが取り入れられており、特に陸上競技・短-中距離種目をはじめとする比較的短時間に行なわれる競技への効果が注目されている。Oriishiら⁵⁾は、女子400m、800m競技者に対して6日間にわたり低酸素環境下での高強度トレーニングを1日2回ずつ行なわせた結果、最大無酸素性ランニングテスト(MART)における最大走行パワーが向上したことを報告している。高地/低酸素トレーニングの効果に関する報告の多くはトレーニング期間が1週間から1ヶ月間程度に設定したものが多く、数ヶ月間以上にわたりトレーニングを継続した報告は少ない。山梨学院大学ではキャンパス内に低酸素環境下でトレーニングを行える人工環境制御室があり、日常生活を行ないつつ定期的に低酸素トレーニン

¹⁾ 山梨学院大学スポーツ科学部

グを行うことができる。そこで本研究では、女子陸上競技・中距離競技者に対して、長期間にわたり常圧低酸素環境下での高強度トレーニングを実施した際のトレーニング効果について検証することを目的とした。

II. 方法

1. 対象者

本研究の対象者は大学陸上競技部に所属して400m、800mを専門種目とする女子競技者3名であった。対象者には本研究への参加にあたり書面及び口頭で研究方法やリスクについて説明を行なった後に、書面にて同意を得た。表1に研究開始時の対象者の身体的特性と専門種目を示した。なお本研究は山梨学院大学研究倫理委員会の承認を得て行なわれた（承認番号：29-005）。

表1. 対象者の身体的特性と専門種目

対象者	身長 (cm)	体重 (kg)	専門種目
A	164.0	65.0	800m
B	165.0	66.0	400m
C	169.6	56.0	800m

2. 低酸素トレーニングの実施方法（測定1）

（1）低酸素トレーニングの実施手順

対象者は人工環境制御室（富士医科産業株式会社製）において、1週間に1度の頻度で低酸素環境下でのトレーニングを実施した。実施時の酸素濃度は16.4%（標高2000m相当）、気温は14-17度、湿度は50%とした。酸素濃度を標高2000m相当とした理由は、本研究では低酸素トレーニングを継続的に長期間行なうことを前提としており、対象者に過度な負荷を掛けることを避けるため、先行研究⁶⁾において高強度の低酸素トレーニングの効果を認めた設定条件から、比較的酸素濃度の高い条件に合わせたことによる。トレーニングは2017年3月から2020年9月にかけて実施し、その回数は対象者Aが72回、Bが58回、Cが47回であった。

トレーニングの内容は以下の通りであった。人工環境制御室に入室した後、安静時の心拍数と酸素飽和度を測定した。その後、自転車エルゴメーター（Wattbike Pro、Wattbike社製）を用いて、5分間ペダリングを3回（休息时间1分）行なった後に1分間ペダリングを3回（休息时间1分）行なった。設定負荷は5分間ペダリングが130、150、165watt、1分間ペダリン

グの負荷は360wattとして、対象者全員で統一した。先行研究における高強度の低酸素トレーニングは、15秒以内の全力運動を30秒以内の休息をはさみながら47セット行い、これを3-4セッション繰り返すことが多い⁶⁾。それに比較すると本研究におけるトレーニング内容は運動時間がやや長く、それに伴い運動強度がやや低いと思われる。このようなトレーニング内容を設定した理由として、本研究の対象者が400m、800mを専門種目としている競技者であることがあげられる。これらの種目は1-2分の運動時間で、有酸素性および無酸素性エネルギーを最大限に発揮することが要求される。したがって本研究では、有酸素エネルギー系および無酸素エネルギー系を最大限に活性化させるために、まず5分間のペダリングを3回行い、有酸素エネルギー系が十分活性化された状態で、次に1分間のペダリングを3回行うことで、無酸素エネルギー系を動員させることをねらいとした。

（2）測定項目及び測定方法

5分間ペダリングにおいては運動中4分以降にパルスオキシメータ（Pulsox-300、Konica Minolta社製、）を用いて酸素飽和度（SpO₂）を測定し、運動直後にBorg Scaleにて主観的運動強度を測定した。1分間ペダリングにおいては運動直後にSpO₂を測定した。一連のトレーニングが終了して概ね1分後に指尖より採血して血中乳酸濃度を測定した（Biosen-C line、EKF社製）。安静時および運動中の心拍数はハートレートモニタ（s 610、Polar社製）を用いて連続的に測定した。また1分間ペダリングにおいては「できるだけ設定パワーを発揮し続けるようペダリングを行なう」ことを指示していたために1分間の平均パワーを代表値として、3回のうち最高値を「最高パワー」、3回の平均値を「平均パワー」とした。

3. 低酸素トレーニングにおける運動強度の評価（測定2）

上述の通り、本研究の低酸素トレーニングの内容は、対象者の専門種目を考慮して考案されたものであるが、その負荷特性について十分な検討は行なわれていなかった。そこで低酸素トレーニングにおける運動負荷の水準を評価するために、対象者A、Bが以下の測定を行なった。これらの測定は技術的な問題のため常酸素環境下で実施した。なお測定2は2020年3月に実施した。

1日目には、自転車エルゴメーターを用いて100watt・4分間のペダリング運動から始めて1分間

の休息を挟みながら 30watt ずつ漸増して疲労困憊にいたるまで行なわせた。運動中の呼気ガスを採取してガス分析装置 (AE-310s、Minato 社製) により酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$) を測定した。得られた結果から、【運動負荷 (watt) - $\dot{V}O_2$ (ml/min)】関係を求めるとともに $\dot{V}O_2$ の最高値を最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) とした。

2 日目には、低酸素トレーニングの手順通りに自転車エルゴメーターによるペダリング運動を実施した。運動中の呼気ガスを連続的に採取して酸素摂取量を求めた。5 分間ペダリング終了後と一連のトレーニング終了後に指尖より採血して血中乳酸濃度を測定した。

Ⅲ. 結果

1. 低酸素トレーニングの結果 (測定 1)

図 1 に、走速度で表した競技記録 (対象者 A と C は 800m、対象者 B は 400m) と、1 分間ペダリングにおける発揮パワーの推移を対象者ごとに示した。競技成績については、対象者 A では 2017-2018 年はほぼ同水準にあったものの 2019-2020 年は低下していた。対象者 B では 2017-2019 年にかけて緩やかな低下傾向を示していた。対象者 C では 2017-2018 年にかけて成績が向上し、2019 年ではその水準を維持していた。

1 分間ペダリングについては、年間を通じた最高パワーと平均パワーの変化に一定の傾向は認められず、対象者 A では試合期直前に増加した後に緩やかに低下し、対象者 C では試合期においてピークを示した後に低下していた。対象者 B では試合期とそれ以外の時期とに関係なく上昇と低下を繰り返していた。

図 2 に 1 分間ペダリングにおける SpO_2 と血中乳酸濃度の推移を対象者ごとに示した。 SpO_2 については 1 分間ペダリング直後の測定値について 3 回分平均したものを示した。 SpO_2 と血中乳酸濃度の変化については全ての対象者で一定の傾向は認められなかった。

図 3 に 3 回の 5 分間ペダリングにおける心拍数の推移を対象者ごとに示した。HR の変化については一定の傾向は認められなかった。

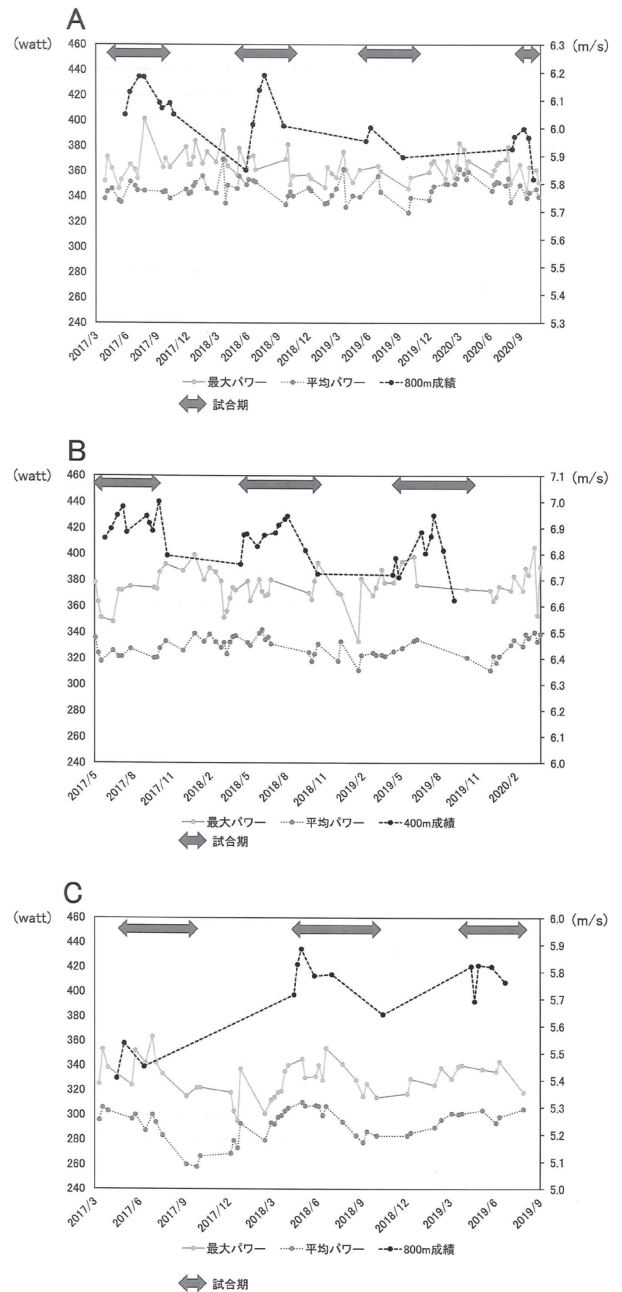


図 1. 低酸素トレーニングにおける 1 分間ペダリング運動のパワーおよび競技成績の推移

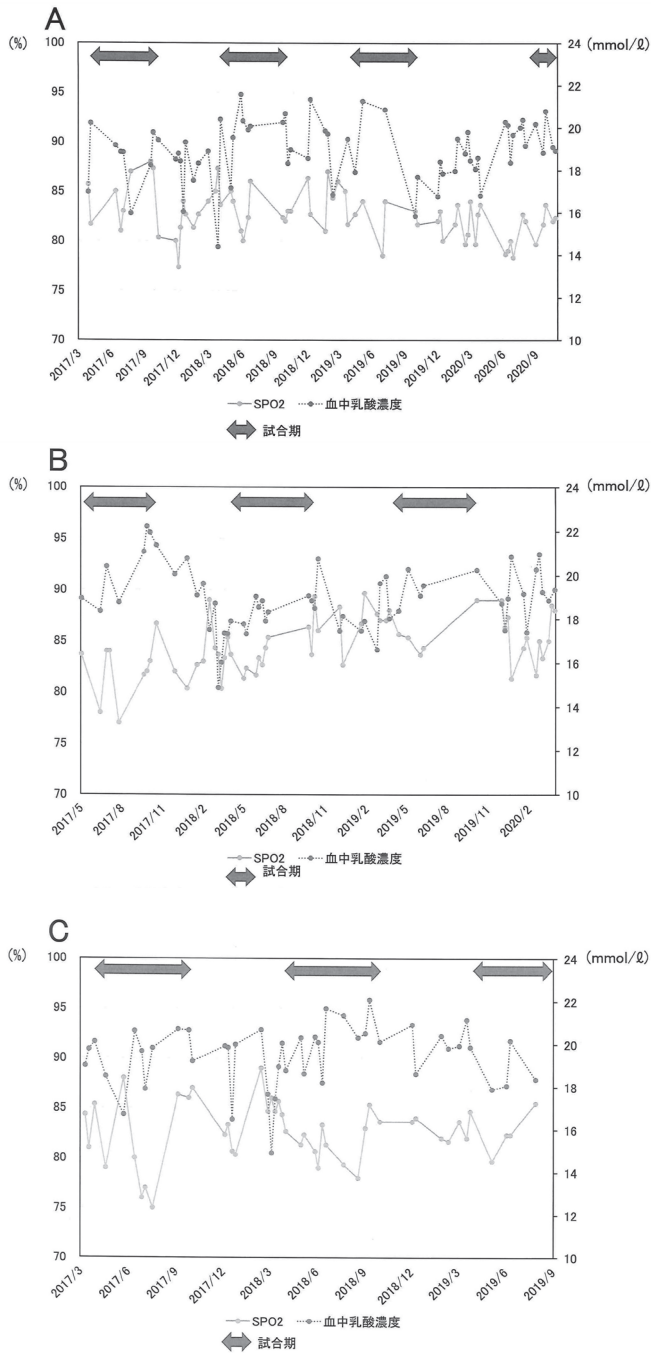


図2. 低酸素トレーニングにおける1分間ペダリング運動中の酸素飽和度と血中乳酸濃度の推移

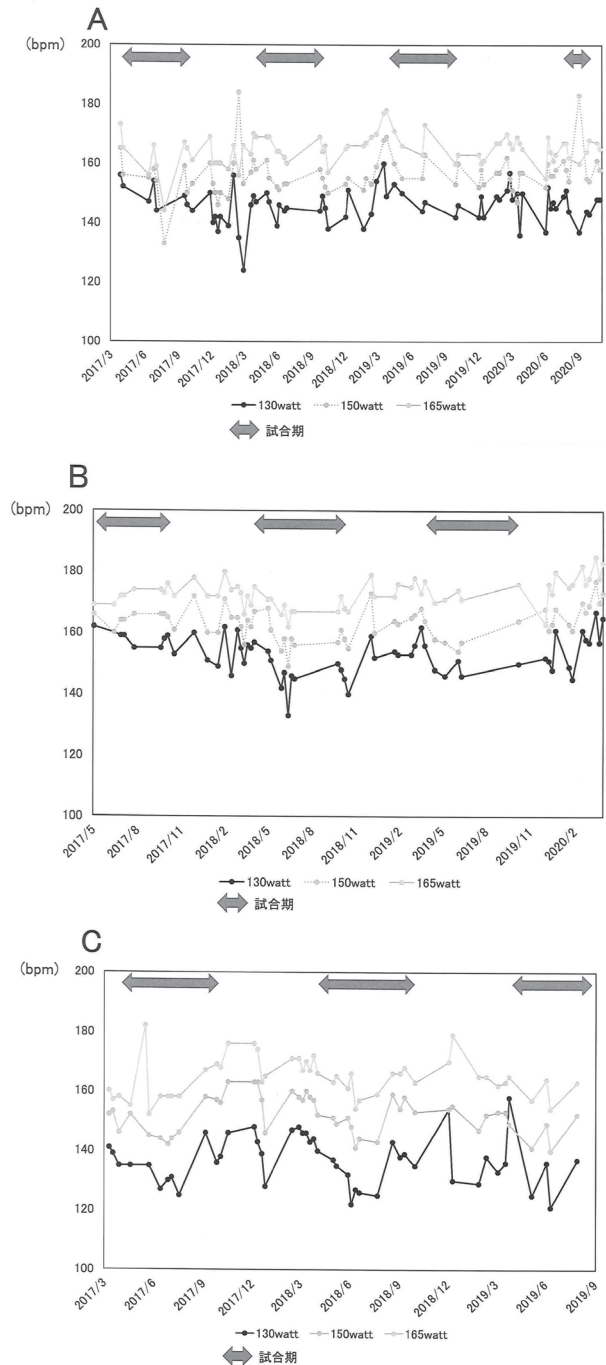


図3. 低酸素トレーニングにおける5分間ペダリング運動中の心拍数の推移

2. 低酸素トレーニングにおける運動強度の評価 (測定2)

図4、5に対象者A、Bが常酸素環境下で低酸素トレーニングと同じ手順により1分間ペダリングを行った際のパワーと $\dot{V}O_2$ の経時変化を15秒ごとに示した。1分間の平均パワーは低酸素トレーニング時とはほぼ同じ水準であった。 $\dot{V}O_2$ は両者ともに酸素摂取量の絶対値でみた場合は同様の水準であったが、対象者BはAに比べると $\dot{V}O_{2max}$ がやや低かった

めに $\dot{V}O_{2max}$ に対する割合が高くなった。運動中の $\dot{V}O_2$ はピーク時で対象者Aが94%、Bが100%、運動後の血中乳酸濃度は対象者Aが12.04mmol/l、Bが18.17mmol/lであった。また、5分間ペダリングにおける $\dot{V}O_2$ の $\dot{V}O_{2max}$ に対する割合は対象者Aが47-58%、Bが48-60%、運動後の血中乳酸濃度は対象者Aが1.28-2.11mmol/l、Bが1.83-3.41mmol/lであった。

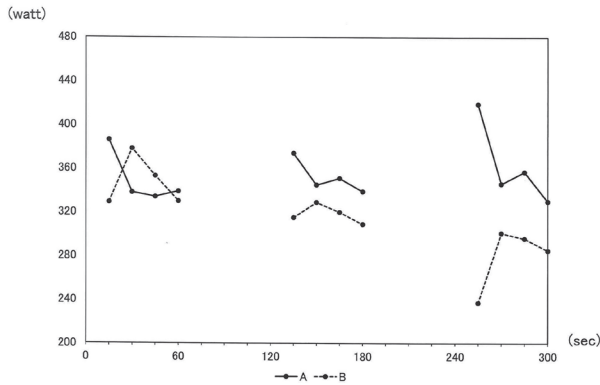


図 4. 常酸素環境で実施した 1 分間ペダリング運動におけるパワーの経時的変化

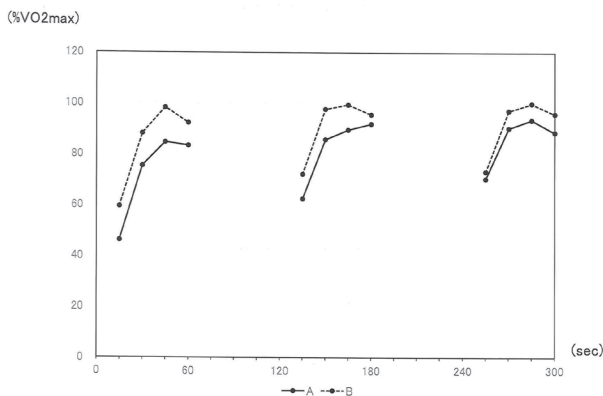


図 5. 常酸素環境で実施した 1 分間ペダリング運動における VO₂ の経時的な変化

IV. 考察

1. 低酸素トレーニングの運動強度について

本研究における低酸素トレーニングは 2019 年 3 月から継続してきたが、その運動強度がトレーニングのねらいに合致しているか否かについては必ずしも明らかではなかった。このため、低酸素トレーニングの内容について常酸素環境下で $\dot{V}O_2$ と血中乳酸濃度の面から評価を試みた結果（測定 2）、5 分間ペダリングについては $\% \dot{V}O_2 \max$ でみると 40-60%、血中乳酸濃度が 4mmol/l 以下であり中強度の有酸素運動であったと考えられる。これに対して 1 分間ペダリングについては、測定した 2 名とも運動中の $\dot{V}O_2$ がほぼ 100% $\dot{V}O_2 \max$ に達するとともに、運動後の血中乳酸濃度が 12-18mmol/l を記録していた。低酸素環境では常酸素環境に比べて最大酸素摂取量が低くなることを考慮するとトレーニング中の 1 分間ペダリング運動では、有酸素性および無酸素性エネルギー供給の双方を極めて高い水準で動員することが必要な運動強度であったと考えられる。実際に低酸素トレーニング後の血中乳酸濃度はしばしば 20mmol/l を超えていたことや、1 分間ペダリングにおける平均パワーが設定値である

360watt を下回ることが多かったことから、対象者において相当の努力を要する高強度運動であったと推測される。これらのことから、本研究における低酸素トレーニングは、当初のねらいに対して十分に妥当な内容であったと考えられる。

2. 低酸素トレーニングの実践結果について

本研究における低酸素トレーニングは、競技会 1 週間前および学外合宿実施時などを除いて 1 週間に 1 度の頻度でほぼ年間を通じて同じ内容で実施した。このため、本研究で測定した発揮パワーや血中乳酸濃度は試合期、鍛錬期でのトレーニング内容の違いや疲労あるいは体調などの影響を受けていたと考えられる。

上述のとおり 1 分間ペダリング運動は、有酸素性および解糖系を主とした無酸素性のエネルギー供給を動員する高強度運動であったと推測され、対象者の専門種目と運動時間が近いことを考慮すると、1 分間ペダリングで高いパワーを維持できることは高いパフォーマンスを発揮することに関連するものと推測される。しかし本研究の結果をみると、発揮パワーの年間を通じた推移と競技成績の推移との関連性が明確には認められなかった。この原因の一つとしては、対象者の体重を考慮しない同一の負荷設定であったことが考えられる。ウイングテストなど短時間高強度での自転車ペダリング運動では体重の影響を考慮した負荷設定を行なうことが一般的であるため、体重を考慮しないことで対象者によって負荷の掛かり方が異なっていた可能性が考えられる。また、対象者において有酸素性能力と無酸素性能力のどちらに強いタイプか、という特性が影響していた可能性が考えられる。さらに試合期に向けてのコンディションの高め方にも鍛錬期に持久力を高めてから試合期に向けてスピードを高める、あるいは鍛錬期に筋力・スピードを高めてから試合期に持続時間を延ばしていくといったトレーニングの個人差が影響した可能性も考えられる。なお対象者 C が研究期間中に最も競技成績が向上するとともに、試合期において 1 分間ペダリングのパワーが向上し、運動後の血中乳酸濃度が高い値を示したことから、対象者 C において低酸素トレーニングの設定条件が最も当てはまっていた可能性がある。今後対象者 C の身体的特性やトレーニング内容を詳細に分析することで、より効果的な低酸素トレーニングの設定条件を見い出せる可能性が考えられる。

陸上競技・中距離種目においては、有酸素性能力と解糖系エネルギー供給を主とした無酸素性能力を共に最大限発揮することが必要であり、そのトレーニング

においても同様な状況を生み出すために、高い走速度を一定時間維持してそれを反復することが行なわれる。このようなトレーニングを走運動によって高頻度を実施することは下肢の筋群と関節にかなりの負担がかかることが予想され、故障のリスクも高まると思われる⁷⁾。吉岡⁸⁾は自転車ペダリング運動によるトレーニングが長距離走種目の成績向上に貢献し得ることを報告しており、運動強度などの条件を適切に設定することで中距離競技者においても同様の効果が得られると考えられる。低酸素環境下での高強度のトレーニングを自転車ペダリング運動によって実施することで、常酸素環境に比べてより多くの無酸素性エネルギー供給系を動員するとともに、運動様式を変えることで故障を防ぐことも期待できると考えられる。

IV. まとめ

本研究の結果から、陸上競技・女子中距離競技者が長期間にわたり自転車ペダリング運動によって低酸素トレーニングを実施することは、競技成績の向上や故障のリスクを避けながら「追い込む」トレーニングを実施することに寄与し得ることが推察された。今後、低酸素トレーニングをより効果的に行なうためには、一般的な低酸素トレーニングと同様に週に2-3回の頻度で集中的に実施する期間を設けること、自転車ペダリング運動を用いる場合には対象者の体重を考慮した負荷設定とすること、400mと800mのどちらを主たる種目とするかによって主運動時間などの条件を変えることなどを検討する必要がある。

参考文献

- 1) Duffield R and Dawson B (2003) Energy system contribution in track running. *New Studies in Atheletics* 18(4): 47-56.
- 2) 品田貴恵子・吉岡利貢・服部聡士・白井祐介・鍋倉賢治 (2012) 800m 走中の有酸素性および無酸素性エネルギー供給量の推移. *陸上競技研究* 91: 14-22.
- 3) Hanon C, Lepreter PM, Bishop D, Thomas C, Oxygen uptake and blood metabolic response to a 400-m run. *Eur J Appl Physiol* 109: 233-240.
- 4) 榎本靖士・門野洋介 (2007) 800m レースにおける走スピードとレース後の血中乳酸濃度との関係. *陸上競技研究紀要* 3: 70-72.
- 5) Oriishi M, Ohmura H, Hagiwara M, Yamashita R, Ohya T, Asaba K, Kawahara T and Suzuki Y (2017) Effect of additional overnight hypoxic exposure in combination with intermittent hypoxic training on MART. *Med Sci Sport Exerc* 49(5): 249-6)
- 6) 笠井信一 (2020) 低酸素環境下におけるスプリントトレーニングの効果. *トレーニング科学* 31(4): 161-168.
- 7) 田原圭太郎・鎌田浩史・蒲原一之・山澤文裕 (2018) 大学陸上競技選手のスポーツ外傷・障害調査における疲労骨折に関する検討-日本学生陸上競技対校選手権大会・全日本大学駅伝対校選手権大会・全日本大学女子駅伝対校選手権大会の調査-. *陸上競技研究紀要* 14: 220-223.
- 8) 吉岡利貢 (2010) 長距離ランナーにおけるクロストレーニングの有効性. *陸上競技研究* 80: 2-12.